



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06295333 A**(43) Date of publication of application: **21 . 10 . 94**

(51) Int. Cl. **G06F 15/64**  
**G01C 3/06**  
**// G06F 15/62**

(21) Application number: **05080749**(22) Date of filing: **07 . 04 . 93**(71) Applicant: **SHARP CORP YANAIDA  
MASAHIKO**(72) Inventor: **GAKO NOBUTOSHI  
YANAIDA MASAHIKO**(54) **OMNIAZIMUTH VISUAL SYSTEM**

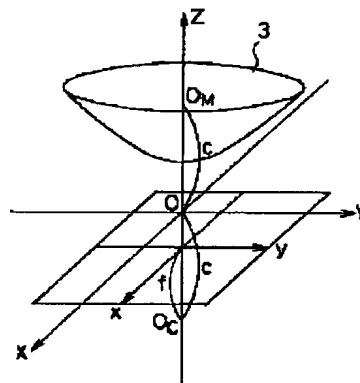
## (57) Abstract:

**PURPOSE:** To obtain an omniazimuth visual system capable of simultaneously photographing omniazimuth pictures by providing this visual system with a reflection mirror having the shape of one hyperboloid out of hyperboloid of two sheets and a lens having the other hyperboloid shape and arranging its center on the focus of the other hyperboloid.

**CONSTITUTION:** This omniazimuth visual system is constituted of a hyperboloid mirror 3 which is one of hyperboloid of two sheets and a camera arranged under the mirror 3 so as to be turned upwards in the vertical direction. In the case of using the projection of hyperboloid of two sheets, a picture picked up by the camera can be converted into a picture observed from the focus O of the mirror 3 and conventional picture processing technique can be utilized similarly to a general camera. Even when an object to be observed is not a point or a vertical line but an optional straight line, projection relation can easily be obtained. Since the visual system has simple constitution consisting of the hyperboloid mirror and the television camera and features capable of simultaneously observing the omniazimuth and having a focus in the two-sheet hyperboloid projections which is not included in other

omniazimuth visual systems, it is unnecessary to consider original picture recognition technique.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-295333

(43)公開日 平成6年(1994)10月21日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/64	3 2 0 C	7631-5L		
G 0 1 C 3/06	Z	9008-2F		
// G 0 6 F 15/62	4 1 5	9287-5L		

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平5-80749

(22)出願日 平成5年(1993)4月7日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(71)出願人 593067930

谷内田 正彦

兵庫県尼崎市塚口町6丁目41番8号

(72)発明者 賀好 宣捷

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

(72)発明者 谷内田 正彦

兵庫県尼崎市塚口町6丁目41番8号

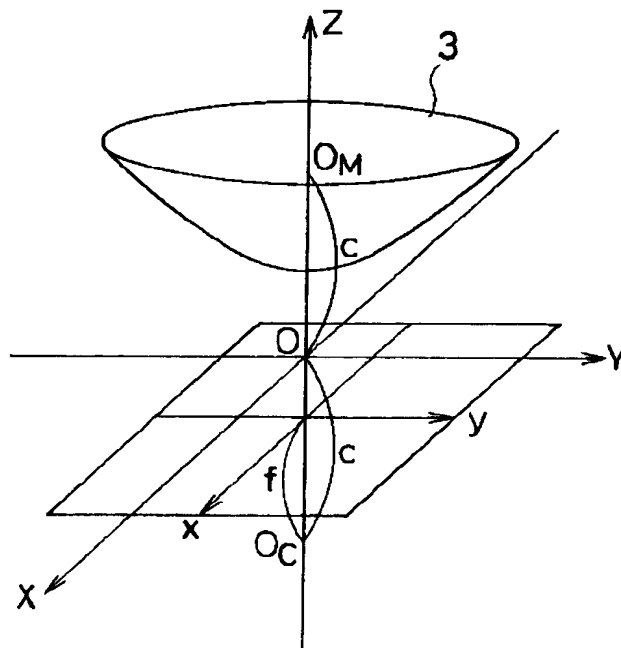
(74)代理人 弁理士 川口 義雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 全方位視覚系

(57)【要約】

【目的】 全方位の画像の同時撮影が可能な全方位視覚系を提供することにある。

【構成】 2葉双曲面のうちの一方の双曲面状の形状を有する反射ミラーと、2葉双曲面のうちの他方の双曲面状の形状を有し中心が他方の双曲面の焦点に配置されたレンズとを備えた画像入力装置を含むことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 葉双曲面のうちの一方の双曲面状の形状を有する反射ミラーと、2 葉双曲面のうちの他方の双曲面状の形状を有し中心が他方の双曲面の焦点に配置されたレンズとを備えた画像入力装置を含むことを特徴とする全方位視覚系。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は全方位視覚系に係り、詳細には広い範囲の視覚情報を同時に入力し得る、特に、監視装置や自律移動ロボット等に用いて好適な双曲面ミラーを用いた全方位視覚系であって、該視覚系を用いて移動中に撮像した画像から移動ステレオ視の原理により環境構造物までの距離を計測し得る全方位視覚系に係る。

### 【0002】

【従来の技術】広い範囲の視覚情報を同時に入力し得る入力装置の研究が盛んに行われている。特に、監視装置や移動ロボットに応用する研究が盛んである。ここでロボットに応用する画像入力装置を例に従来の技術を説明する。

【0003】実際の環境内において、ロボットを誘導するためには、ロボットが移動環境下で現在どのような環境下であるかを理解し、適切な判断を行う必要がある。そのためには、ロボットにセンサを搭載しこのセンサ情報を利用して自律移動する必要がある。センサとしては超音波、レーザー、カメラなどがあるが、中でも視覚センサはロボットの周辺の状況を知る上で有効なセンサである（人は 80% 以上の情報を視覚（眼）から獲得するといわれている）。

【0004】従来の移動ロボットに関する研究では、一般のカメラで直接とった中心射影の画像を利用していた。しかし、この方法では視野領域が前方中心となり、側方及び後方の情報を知ることができなかった。

【0005】このようなロボットなどが人工環境の中を移動する場合、必ずしも移動物体は前方より接近してくるとは限らない。側方、後方からの移動物体の接近による危険が生じ得る。事実、人が自動車を運転する場合も、発進や右左折の場合にルームミラーないしドアミラーで後方の確認を行っている。よって、移動ロボットにおいても移動しながら全方位の情報を獲得することが望ましい。

【0006】このような目的で全方位の視覚情報を同時に獲得する方法として従来以下に示す方法が提案されている。

【0007】（１）カメラを回す方法：カメラを鉛直軸廻りに回転させる方法で全方位の中心射影の鮮明な画像が得られる。

【0008】（２）魚眼レンズを用いる方法：魚眼レンズをつけたカメラを上に向けて使う方法で一度に全方位

の画像をとることができる。

【0009】（３）球面ミラーを用いる方法：半球面のミラーとカメラとから構成されミラーに写った環境をカメラでとる方法である。

【0010】（４）円錐ミラーを用いる方法：円錐面のミラーとカメラとから構成され、側方中心の情報が得られ衝突回避等には有効なセンサである。

### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記の各従来技術には次の問題点がある。

【0012】（１）カメラを回す方法：カメラを回すために全方位の画像をとるのに時間がかかり、衝突回避など実時間で判断する必要のある問題に対しては適切ではない。

【0013】（２）魚眼レンズを用いる方法：出力画像はロボットの移動に必ずしも必要でない天井などの画像を多く含み、ロボットに必要な側方の情報が十分観測できない。

【0014】（３）球面ミラーを用いる方法：この方法は上記魚眼レンズを上下反転した場合の視野領域と類似し、天井などの代わりにカメラ自身の像や床面を画像に多く含み側方の解像度が低いという欠点がある。

【0015】（４）円錐ミラーを用いる方法：足元の情報を得るために工夫が必要とされる。

【0016】さらに、ここであげたカメラを回す方法以外の全方位視覚系は、光学系の特性から画像を一般のカメラで直接とった画像に変換できないため、独自の視覚情報の処理方法が必要とされる。

【0017】例えば、従来の画像処理システムを用いた場合、垂直方向の直線は画面では放射状になるため比較的に見つけやすいが、水平方向の直線は同心円状となるため容易には発見できないという問題がある。また、これらの直線を正しく認識し、通常の画面に変換することが容易でないことも明かである。

【0018】本発明の目的は、全方位の画像の同時撮影が可能な全方位視覚系を提供することにある。

### 【0019】

【課題を解決するための手段】本発明は、2 葉双曲面のうちの一方の双曲面状の形状を有する反射ミラーと、2 葉双曲面のうちの他方の双曲面状の形状を有し中心が他方の双曲面の焦点に配置されたレンズとを備えた画像入力装置を含むことを特徴とする。

### 【0020】

【作用】画像入力装置が 2 葉双曲面のうちの一方の双曲面状の形状を有する反射ミラーと、2 葉双曲面のうちの他方の双曲面状の形状を有し中心が他方の双曲面の焦点に配置されたレンズとを備えているため、換言すれば双曲面ミラーを用い、その焦点から像を撮影できるので光学系で複雑な変換を受けていない歪の少ない画像を一度に得ることができる。この結果、撮影した画像を一般の

カメラで直接とった画像に簡単に変換し得るとともに一般のカメラ出力画像と同じく従来の画像処理技術を利用し得る。

#### 【0021】

【実施例】2葉双曲面投影による全方位視覚系と、センサが移動中に撮像した画像から移動ステレオ視の原理により環境構造物までの距離を計測する方法、さらにはこの方法を用いたシミュレーション結果について説明する。

【0022】本視覚系の特徴は双曲面ミラーを用いることである。2葉双曲面投影の基本的な性質を以下に述べ\*

$$(X^2 + Y^2) / a^2 - Z^2 / b^2 = -1$$

ただしaは虚軸（共役軸）の半分、bは実軸（主軸）の半分である。

【0027】2葉双曲面は $X^2 / a^2 - Z^2 / b^2 = -1$ で表される双曲面の回りに回転して得られる（この双曲線X軸の回りに回転すると1葉双曲面になる）。従って、その形状には以下に示す特徴がある。

【0028】即ち、Z軸に平行な平面による2通りの双曲面の切り口は双曲線となり、XY平面に平行な平面による切り口は円であり、XY平面で対称な2つの曲面を有している。

【0029】本実施例では2葉のうちZ>0の領域にある双曲面をミラーとして利用している。

【0030】このような反射ミラーを用いた視覚系の構成について述べる。

【0031】図1において、鉛直下向きに設置した2葉双曲面のうちの一方の双曲面ミラー3とその下に鉛直上※

$$\text{ミラー} \quad (X^2 + Y^2) / a^2 - Z^2 / b^2 = -1$$

$$\text{ミラーの焦点} O_1 \quad (0, 0, +c)$$

$$\text{カメラのレンズの中心} O_c \quad (0, 0, -c)$$

ただしaは虚軸（共役軸）の半分、bは実軸（主軸）の半分、cは次式で表される。

#### 【0035】

##### 【数1】

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

【0036】図4は点の射影水平方向を説明する図であ★

$$\tan \theta = Y_p / X_p = y_p / x_p$$

すなわち、 $Y_p / X_p$ で定まる対象物体の方位角 $\theta$ や $y_p / x_p$ で定まる画像平面内の像pの方位角 $\theta$ を算出することで得られる。このように360度パノラマ状の領域を双曲面ミラーを介して、撮像面上に投影する本方式では対象物体の方位角 $\theta$ が、その物体の画像平面上の投影の方位として直接現れる。

【0039】図5は点の射影鉛直方向を説明する図である。

【0040】図5に示すように点Pと双曲面ミラー軸Zを含む鉛直面を想定すると、点Pと写像点pとの間に次式が成り立つ。

＊る。

【0023】図1は本発明の全方位視覚系の実施例を説明する図、図2は2葉双曲面を説明する図である。最初に2葉双曲面について説明する。

【0024】図2において、1、2は双曲面、Oは座標原点、 $O_{11}$ は双曲面1の焦点、 $O_{21}$ は双曲面2の焦点、 $C_1$ は座標原点からの各焦点までの距離、X、Y、Zは各座標軸を示す。

【0025】2葉双曲面の式は次の通りである。

#### 【0026】

(2.1)

※向きに設置したカメラから構成されている。カメラの光軸をZ軸（鉛直方向）とするカメラとミラーに固定したO-XYZ3次元座標系を考える。3は双曲面状の形状を有するミラー、 $O_{11}$ はミラー3の焦点、 $O_{21}$ は双曲面状の形状を有するカメラレンズの中心、xyは画像平面を表す。座標原点Oはミラーの焦点 $O_{11}$ とカメラレンズの中心 $O_{21}$ との中心、cは原点Oから中心 $O_{21}$ または焦点 $O_{11}$ までの距離である。画像平面xyはXY平面に平行でレンズ中心 $O_{21}$ からfだけ離れたZ軸上の点を通る面とする。

【0032】図3は視覚系の鉛直断面を説明する図である。図3において、4はミラー3の双曲面の漸近線、5は画像平面である。

【0033】図3に示すようにミラー3の双曲面とその焦点 $O_{11}$ 、カメラのレンズ中心 $O_{21}$ は次式で示される。

#### 【0034】

(2.2)

★る。

【0037】このような視覚系は次のように動作する。すなわち図4に示すように距離計測を行う任意の点P( $X_p, Y_p, Z_p$ )に対する画像平面上の写像点をp( $x_p, y_p$ )とすると、次式が成立する。

#### 【0038】

(2.3)

☆【0041】

#### 【数2】

5

$$Z_p = L \tan \alpha + c$$

$$L = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2}$$

$$\tan \alpha = \frac{(b^2 + c^2) \sin \beta - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos \beta}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{r}{f}$$

$$r = \sqrt{x_p^2 + y_p^2}$$

$$p/\sin(\pi/2 + \alpha) = q/\sin(\pi/2 - \beta) = 2c/\sin(-\alpha + \beta) \quad (2.4)$$

の関係が成立する。

\* 【0047】

【0046】式2.4を簡単になると次式が得られる。 \*

$$p/\cos \alpha = q/\cos \beta = 2c/\sin(-\alpha + \beta) \quad (2.5)$$

また双曲線の性質より

$$p - q = 2b \quad (2.6)$$

が得られるため式2.5、2.6からp、qを消去すると

$$[ \{ 2c \cos \beta / \sin(-\alpha + \beta) \} + 2b ] / \cos \alpha = 2c / \sin(-\alpha + \beta) \quad (2.7)$$

が得られ、式2.7をまとめると、

$$b \sin(-\alpha + \beta) = c (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.8)$$

となる。加法定理により式2.8は、

$$b (\cos \alpha \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta) = c (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.9)$$

となり $\alpha$ 、 $\beta$ を $y = \tan \alpha$ 、 $x = \tan \beta$ とすると式2.9 ※【0048】

が次式に置き換えることができる。

※ 【数3】

$$b \left( \frac{1}{\sqrt{1+y^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} - \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \right) \\ = c \left( \frac{1}{\sqrt{1+y^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \right)$$

【0049】これを簡単にと

【0050】

【数4】

$$b(x-y) = c(\sqrt{1+x^2} - \sqrt{1+y^2})$$

【0051】となりこれをyについて解くと次式の関係が得られる。

【0052】

【数5】

$$c\sqrt{1+y^2} = c\sqrt{1+x^2} - b(x-y)$$

【0053】上式の両辺を自乗してyについて整理すると、

【0054】

【数6】

$$\tan \alpha = \{ (b^2 + c^2) \sin \beta - 2bc \} / \{ (b^2 - c^2) \cos \beta \} \quad (3.0)$$

6

【0042】ただしa、b、cは双曲面に固有の定数(式2.2参照)でありfはカメラの焦点距離である。

【0043】即ち、物体の位置( $X_p$ ,  $Y_p$ )がわかれば、その物体の高さ $Z_p$ は天頂角 $\beta$ から求められる。次に数2の式の算出の詳細を説明する。

【0044】図6は視覚系の鉛直方向を説明する図である。

【0045】図6のようにp、qを設定するとp、qおよび線分 $O_p O_c$ 、 $P$ からなる三角形から正弦定理によ

10 り

$$(c^2 - b^2) y^2 + 2b(bx - c\sqrt{1+x^2})y \\ - (b^2 + c^2)x^2 + 2b cx \sqrt{1+x^2} = 0$$

★【0055】となり、この二次方程式を解くと、

【0056】

40 【数7】

$$y = \begin{cases} \frac{b^2 x - 2bc\sqrt{1+x^2} + c^2 x}{b^2 - c^2} \\ -x \end{cases}$$

【0057】となる。 $y = -x$ は明らかに求めているものとは異なる。よって、もう一方の解を使用し $y = \tan$

$\alpha$ 、 $x = \tan \beta$ を代入すると、

同様にxについて解き、 $y = \tan \alpha$ 、 $x = \tan \beta$ を代入\* \*すると、

$$\tan \beta = \{(b^2 + c^2) \sin \alpha - 2bc\} / \{(b^2 - c^2) \cos \alpha\} \quad (3.1)$$

となる。

【0058】図7は直線の射影を説明する図である。同図において距離計測を行う任意の直線Gを次の2平面の交線として表す。

【0059】

【数8】

$$S_1: l_1 X + m_1 Y + n_1 (Z - c) = 0$$

$$S_2: l_2 X + m_2 Y + n_2 Z + k = 0$$

【0060】数8の式はミラーの焦点 $O_M$  (0, 0, c)と直線Gを通る平面式 $S_1$ と直線Gを含み前記平面 $S_1$ と交差する任意の平面式 $S_2$ である。この直線Gの画像面上への射影曲線は、極座標系(r,  $\theta$ )で表すと次式になる。

【0061】

【数9】

$$\frac{-l_1 \cos \theta - m_1 \sin \theta}{n_1} = \frac{(b^2 + c^2) r - 2bc \sqrt{f^2 + r^2}}{(b^2 - c^2) f}$$

$$l_1 \cos \alpha \cos \theta + m_1 \cos \alpha \sin \theta + n_1 \sin \alpha = 0 \quad (3.2)$$

この式を変形すると、

$$\tan \alpha = (-l_1 \cos \theta - m_1 \sin \theta) / n_1 \quad (3.3)$$

数2の式を代入すると

$$(-l_1 \cos \theta - m_1 \sin \theta) / n_1 = \{(b^2 + c^2) \sin \beta - 2bc\} / \{(b^2 - c^2) \cos \beta\} \quad (3.4)$$

となり、

【0067】

★【数11】

$$\cos \beta = \frac{f}{\sqrt{f^2 + r^2}}, \quad \sin \beta = \frac{r}{\sqrt{f^2 + r^2}}$$

【0068】を代入すると数9の式が得られる。

【0069】次に上述のセンサを搭載したロボットが移動中に撮像した時系列画像から移動ステレオの原理により環境内構造物までの位置情報を求める方法について述べる。

【0070】まず静止環境での位置情報の獲得について述べる。図8は点の距離計測を説明する図である。同図に基づいて点の獲得情報を説明する。

☆

【0072】

$$X_P / (\cos \alpha_1 \cos \theta_1) = Y_P / (\cos \alpha_1 \sin \theta_1) = Z_P / \sin \alpha_1$$

$$(X_P - V_X) / (\cos \alpha_2 \cos \theta_2) = (Y_P - V_Y) /$$

$$(\cos \alpha_2 \cos \theta_2) = (Z_P - V_Z) / \sin \alpha_2 \quad (3.2)$$

それぞれの式は各時刻でのミラーの焦点 $O_M$ と対象点P

◆解を持たない。

とを結ぶ直線を示す。式3.2は次式がなりたたなければ◆

【0073】

$$(\cos \alpha_1 \sin \theta_1 \sin \alpha_2 - \cos \alpha_2 \sin \theta_2 \sin \alpha_1) V_X +$$

$$(\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \cos \theta_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_1 \cos \theta_1) V_Y +$$

※【0062】すなわち、任意の直線Gの画像面上への射影像は、ミラーの焦点 $O_M$ を通る平面 $S_1$ の関係のみにより同一式で表現される。数9の式の算出の詳細について下記に記載する。

【0063】直線を画像面上に射影した式は次のように算出される。

【0064】(X, Y, Z)を(h,  $\theta$ ,  $\alpha$ )で表すと(hは $O_M$ から(X, Y, Z)までの距離)、

【0065】

【数10】

$$X = h \cos \alpha \cdot \cos \theta$$

$$Y = h \cos \alpha \cdot \sin \theta$$

$$Z = h \sin \alpha + c$$

※【0066】これを数8の式の前者に代入すると

☆【0071】図8に示すように移動しているときの任意の時刻 $t_1$ 、 $t_2$ における数2の式のパラメータを夫々添字1, 2で区別する。この時、時刻 $t_1$ から見た時刻 $t_2$ でのミラーの焦点 $O_M$ の位置を( $V_X$ ,  $V_Y$ ,  $V_Z$ )とすると、時刻 $t_1$ からみた対象点P( $X_P$ ,  $Y_P$ ,  $Z_P$ )の位置は、( $\theta_1$ ,  $\alpha_1$ )、( $\theta_2$ ,  $\alpha_2$ )を観測することで次の方程式を解くことにより求まる。

40

9

10

$$(\cos \alpha_1 \cos \theta_1 \cos \alpha_2 \sin \theta_2 - \cos \alpha_2 \cos \theta_2 \cos \alpha_1 \sin \theta_1)$$

$$V_z = 0 \quad (3.3)$$

図9は直線の距離計測を説明する図である。

【0074】図9に示すように移動しているときの任意の時刻  $t_1$ 、 $t_2$  における数の式のパラメータを夫々添字 1, 2 で区別する。また、時刻  $t_1$  からみた時刻  $t_2$  でのミラー焦点  $O_k$  の位置を  $(V_x, V_y, V_z)$  とす

\* する。時刻  $t_1$  におけるミラーの焦点  $O_k$  と対象直線上の任意の一点を結ぶ直線は、時刻  $t_1$  でのセンサに写った対象直線の像から求めることができる。この直線の次式で表す。

※ 【0075】

$$X/(\cos \alpha_{11} \cos \theta_{11}) = Y/(\cos \alpha_{11} \sin \theta_{11}) = Z/\sin \alpha_{11} \quad (3.4)$$

また、 $O$  と対象直線上の別の任意の 1 点を結ぶ直線を次式で表す。

※10

$$X/(\cos \alpha_{12} \cos \theta_{12}) = Y/(\cos \alpha_{12} \sin \theta_{12}) = Z/\sin \alpha_{12} \quad (3.5)$$

式3.4 と3.5 の二つの直線を含む平面上に対象直線は存在する。従って式3.4と3.5 の二つの直線を含む平面は、次式で表される。

★ 【0077】

【数12】

★

$$\overline{N}_{11} X + \overline{N}_{11} Y + \overline{N}_{11} Z = 0$$

$$\overline{D}_{11} = (\cos \alpha_{11} \cos \theta_{11}, \cos \alpha_{11} \sin \theta_{11}, \sin \alpha_{11})$$

$$\overline{D}_{12} = (\cos \alpha_{12} \cos \theta_{12}, \cos \alpha_{12} \sin \theta_{12}, \sin \alpha_{12})$$

$$\overline{N}_1 = \overline{D}_{11} \times \overline{D}_{12}$$

【0078】但し、 $\times$  はベクトルの外積を示す。

☆  $V_z$  を結ぶ直線は次式で示される。

【0079】同様に時刻  $t_2$  についても同じことを行

【0080】

う。まず対象直線上の任意の 2 点と  $(V_x, V_y,$

☆

$$(X-V_x)/(\cos \alpha_{21} \cos \theta_{21}) = (X-V_y)/(\cos \alpha_{21} \sin \theta_{21}) = (Z-V_z) \sin \alpha_{21} \quad (3.6)$$

$$(X-V_x)/(\cos \alpha_{22} \cos \theta_{22}) = (X-V_y)/(\cos \alpha_{22} \sin \theta_{22}) = (Z-V_z) \sin \alpha_{22} \quad (3.7)$$

式3.6 と3.7 の二つの直線を含む平面は、次式で示される。

◆30 【数13】

$$\overline{N}_{21} X + \overline{N}_{21} Y + \overline{N}_{21} Z - (\overline{N}_{21} V_x + \overline{N}_{21} V_y + \overline{N}_{21} V_z) = 0$$

$$\overline{D}_{21} = (\cos \alpha_{21} \cos \theta_{21}, \cos \alpha_{21} \sin \theta_{21}, \sin \alpha_{21})$$

$$\overline{D}_{22} = (\cos \alpha_{22} \cos \theta_{22}, \cos \alpha_{22} \sin \theta_{22}, \sin \alpha_{22})$$

$$\overline{N}_2 = \overline{D}_{21} \times \overline{D}_{22}$$

【0082】よって、対象直線は 2 平面として数 1 2、数 1 3 の式から算出できる。但し、数 1 2、数 1 3 の式において両平面の法線ベクトルの外積が  $O$  となる  $[\overline{N}_1 \text{バー} \times \overline{N}_2 \text{バー} = 0]$  の場合は、2 平面は平行面となり交線は存在しない。対象直線が求まる条件は、対象直線とセンサの移動方向が捻れの位置にある場合である。

【0083】ここでベクトルの外積について説明する。

【0084】ベクトル  $A$  バー、 $B$  バーが直交座標系において、

【0085】

【数14】

$$\overline{A} = a_x \overline{i} + a_y \overline{j} + a_z \overline{k}$$

$$\overline{B} = b_x \overline{i} + b_y \overline{j} + b_z \overline{k}$$

【0086】で与えられているときベクトルの外積は次式で計算することができる。

【0087】

【数15】

$$\begin{aligned}
 \overline{\mathbf{A}} + \overline{\mathbf{B}} &= (a_y b_z - a_z b_y) \overline{\mathbf{i}} + (a_z b_x - a_x b_z) \overline{\mathbf{j}} \\
 &\quad + (a_x b_y - a_y b_x) \overline{\mathbf{k}} \\
 &= \begin{vmatrix} \overline{\mathbf{i}} & \overline{\mathbf{j}} & \overline{\mathbf{k}} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

【0088】ベクトルAバー、Bバーの外積としてはつぎのようなベクトルCバーをいう。即ち、その大きさはAバー、Bバーを2辺とする平行四辺形の面積に等しく、その方向はAバー、Bバーに垂直でAバー、Bバー、Cバーが右手系となるような向きを有している。

【0089】また、直線と平面の交点を求めることにより、各時刻で選んだ対象直線上の点は求めることができる。直線と平面を次のように定義すると、

【0090】

【数16】

$$\frac{X - X_1}{\overline{D}_x} = \frac{Y - Y_1}{\overline{D}_y} = \frac{Z - Z_1}{\overline{D}_z}$$

$$\overline{N}_x X + \overline{N}_y Y + \overline{N}_z Z + k_2 = 0$$

\*【0091】となり交点は次式で表される。

【0092】

【数17】

$$\begin{aligned}
 (X, Y, Z) &= \left\{ \frac{-\overline{D}_x (\overline{N}_y Y_1 + \overline{N}_z Z_1 + k_2) + X_1 (\overline{N}_y \overline{D}_y + \overline{N}_z \overline{D}_z)}{\overline{N}_x \overline{D}_x + \overline{N}_y \overline{D}_y + \overline{N}_z \overline{D}_z}, \right. \\
 &\quad \frac{-\overline{D}_y (\overline{N}_z Z_1 + \overline{N}_x X_1 + k_2) + Y_1 (\overline{N}_z \overline{D}_z + \overline{N}_x \overline{D}_x)}{\overline{N}_x \overline{D}_x + \overline{N}_y \overline{D}_y + \overline{N}_z \overline{D}_z}, \\
 &\quad \left. \frac{-\overline{D}_z (\overline{N}_x X_1 + \overline{N}_y Y_1 + k_2) + Z_1 (\overline{N}_x \overline{D}_x + \overline{N}_y \overline{D}_y)}{\overline{N}_x \overline{D}_x + \overline{N}_y \overline{D}_y + \overline{N}_z \overline{D}_z} \right\}
 \end{aligned}$$

【0093】以上の構成を有用性を検証するためシミュレーションを行った。図10はシミュレーションに使用した仮想環境を説明する図である。

【0094】図10において、10はセンサ、11は四角錐、12は直方体を示す。環境としては室内を想定し環境内にはワイヤフレーム状のセンサ10、四角錐11、直方体12が存在する。

【0095】四角錐11の大きさは底面が45×45cm、高さが60cm、直方体12の大きさは底面が56×25cm、高さが38cmである。またセンサ10の設定は次の通りである。

【0096】2葉双曲面ミラーの固有の係数：(a, b, c) = (8, 6, 10)

カメラレンズの画角：65度

画像面のサイズ：500×500 (pixel)

これらの設定により画像上の半径250pixelの円内にミラーの焦点Oを含む水平面より仰角15度から

下方の全方位画像が得られる。

【0097】以上の設定のもとでセンサは空間内を高さ40cmで水平に163.25cm直進する。ただし、センサの位置情報は正確に得られるものとする。

【0098】図11は図10のセンサ10の位置にセンサが位置する場合の画像上への射影像の結果を示す図である。図11の上方が進行方向であり図11の円はミラーの焦点から見て水平な線である。

【0099】次に移動ステレオによる計測結果について説明する。

【0100】図12から図14は環境とセンサの移動した経路と結果を示す図である。図12から図14において正しい環境を点線、計測した環境を実線、センサの奇跡を鎖線で示す。図12は移動距離が16.32cm、図13は移動距離が81.62cm、図14は移動距離が163.24cmである。

【0101】位置計測方法は直線の情報獲得で述べた直



線を計算する方法を使用した。直線上の任意の2点にはエッジの端点を使い、端点の座標を計算した。また、画像面への射影した座標を整数化することで量子化誤差として与えた。

【0102】図15はセンサの移動距離と計算誤差とを説明する図である。

【0103】図15において、誤差は正しい端点と計算により算出される端点の距離の相乗平均で求めた。誤差は移動距離が16.32cmでは47.00cmであったが81.62cmで1.97cm、163.24cmで1.52cmと移動距離が長くなるにつれて減少した。

【0104】以上の結果により移動ステレオ法がこの視覚系でも有効であり、多の従来の計測法でも同様に利用できる。

【0105】この実施例では本実施例をロボットに応用する場合について述べてきたが、この視覚系の応用範囲はロボットに限らない。広い範囲を同時入力できる画像入力装置として各種の監視装置などに用いて好適である。また2眼を設置すればこれまで述べてきた移動ステレオと同様の原理で距離測定にも用いることができる。

【0106】以上は移動ロボット用視覚センサとして2葉双曲面投影を用いた全方位視覚系の実施例、および該実施例を用いて環境構造物までの距離を計測する方法に\*

$$y^2/b^2 - x^2/a^2 = 1$$

が成立する。双曲線上の点M(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>)における接

$$y y_0 / b^2 - x x_0 / a^2 = 1$$

で表され双曲線上における接線および法線は、それぞれ焦点半径(焦点と接点とを結ぶ動径)のなす内角および外角を二等分する。さらに双曲線の分岐が原点から遠ざ

$$y = \pm a x / b$$

にて表される。

【0112】従って、図5に示すようにカメラのレンズ中心O<sub>1</sub>を一方の双曲面の焦点位置にすることで点Pの位置にかかわらず、点Pと双曲面ミラーでの反射位置とを結ぶ光路の延長線は、ミラー焦点O<sub>2</sub>を通過する。

【0113】すなわち、数2の式のαとβの関係を用いればカメラで撮像した画像は、ミラーの焦点O<sub>2</sub>から見た画像に変換できる。これは、焦点O<sub>2</sub>にレンズ中心をもつカメラを鉛直軸まわりに回転させることで得られる全方位画像と等しく、本実施例では一般のカメラと同じく従来よりの画像処理技術を利用できる利点を有する。

【0114】他の全方位視覚系の内、視覚系の類似する球面および円錐投影を用いる場合と、2葉双曲面投影を基いる場合との相違について述べると次の通りである。

【0115】図17は球面投影法を用いた場合の視野領域および光路、図18は円錐投影法を用いた場合の視野領域および光路、図19は2葉双曲面投影法を用いた場合の視野領域および光路を示す。

【0116】図17の投影図法を用いた場合、球面ミラ

\* 関して説明してきた。本実施例で述べている2葉双曲面は双曲線の回転体であるため、「双曲線上における接線および法線は、それぞれ焦点半径(焦点と接点とを結ぶ動径)のなす内角および外角を2等分する」という性格をもつ。即ち、双曲線とは与えられた2つの定点F<sub>1</sub>(0, c)、F<sub>2</sub>(0, -c)(焦点)までの距離の差が一定(=2b<2c)であるような全ての点の集合(軌跡)をいう。

【0107】図16は双曲線の要素を説明する図である。図16において、AB(2b)は実軸、A、Bは頂点、Oは中心、焦点F<sub>1</sub>およびF<sub>2</sub>は実軸上の中心からcの距離

【0108】

【数18】

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (>a)$$

【0109】にあり、虚軸CD(2b)は

【0110】

【数19】

$$2b = 2\sqrt{c^2 - a^2}$$

【0111】である。双曲線の方程式の標準形としては双曲線の実軸が一致するとき

$$(3.8)$$

※線の方程式は

$$(3.9)$$

★かるに従い限りなく近づいていく直線、即ち、漸近線の方程式は

$$(3.10)$$

一の上部をのぞく全視野が視野領域21となり、足元から側方まで観測できる。しかし、画像の中心部にはカメラ自身の像が写り視野領域として利用できず、さらに側方の情報は解像度が低い欠点をもつ。

【0117】図18の円錐投影法を用いた場合、側方を中心とした視野領域22となるため側方の密な情報が得やすい。その反面足元の情報を得るためには光学系に工夫が必要である。

【0118】図19においては20は焦点、23は視野領域を示す。2葉双曲面を用いた場合、カメラ自身も写るが漸近面(円錐上)により側方の視野領域23は制限され、球面投影を用いたときより密な情報が得られる。

【0119】次に射影像の関係について比較する。球面投影や円錐投影を用いた場合、ミラー面の曲率のためミラーに焦点をもたない。そのため、線分などの場合、射影関係が複雑となり従来の方法を利用できない場合がある。

【0120】2葉双曲面投影を用いた場合、カメラで撮像した画像は、ミラーの焦点O<sub>2</sub>から見た画像に数2の式

$\alpha$ 、 $\beta$ の関係式を用いれば変換でき、一般のカメラと同じく従来よりの画像処理技術を利用できる。このことにより観測対象が点や鉛直線だけではなく、任意の直線の場合も射影関係が容易に得られる。例えば、ステレオ視において、画像間の点単位の対応が得られなくても、線単位の対応がわかれば直線の計測ができ、オクルージョンが発生する場合も線分のうち可視部の距離は計測可能である。

【0121】以上のことから2葉双曲面投影は、従来からの画像処理技術が利用でき視野領域もロボットが移動

【0122】このように2葉双曲面投影を用いた本実施例においては、(1)双曲面ミラーとテレビジョンカメラのシンプルな構成であり、(2)全方位が一度に観測でき、(3)2葉双曲面投影においては、他の全方位視覚系にない焦点をもつという特徴があるために独自の画像認識技術を考慮しなくてもよいという特徴を有する。

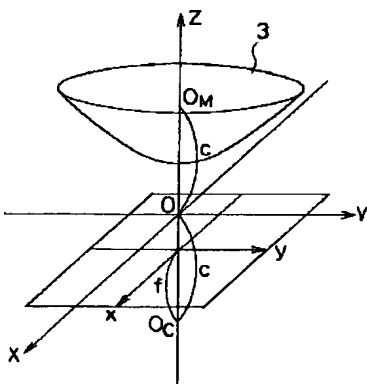
【0123】さらに、シミュレーション実験によりセンサが移動中に撮像した2枚の画像から移動ステレオ視の原理により、環境構造物までの距離を計測した。その結果、従来の距離計測技術が利用できることが確認された。

【0124】これらのことは本実施例の固有の効果であり、特に監視装置やロボット移動用の視覚系など、一度に広い範囲の画像を入力する必要がある画像入力装置として従来の画像処理システムとともに用いて有効である。

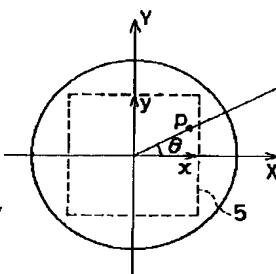
【0125】

【発明の効果】画像入力装置が2葉双曲面のうちの一方の双曲面状の形状を有する反射ミラーと、2葉双曲面のうちの他方の双曲面状の形状を有し中心が他方の双曲面の焦点に配置されたレンズとを備えているため、換言すれば双曲面ミラーを用い、その焦点から像を撮影できるので光学系で複雑な変換を受けていない歪の少ない画像を一度に得ることができる。この結果、撮影した画像を一般のカメラで直接とった画像に簡単に変換し得るとと\*

【図1】



【図4】



\* もに一般のカメラ出力画像と同じく従来の画像処理技術を利用し得る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の全方位視覚系の実施例を説明する図である。

【図2】2葉双曲面を説明する図である。

【図3】視覚系の鉛直断面を説明する図である。

【図4】点の射影水平方向を説明する図である。

【図5】点の射影鉛直方向を説明する図である。

【図6】視覚系の鉛直方向を説明する図である。

【図7】直線の射影を説明する図である。

【図8】点の距離計測を説明する図である。

【図9】直線の獲得情報を説明する図である。

【図10】シミュレーションに使用した仮想環境を説明する図である。

【図11】図10のセンサの位置にセンサが位置する場合の画像上への射影像の結果を示す図である。

【図12】環境とセンサの移動した経路と結果の第1例を示す図である。

【図13】環境とセンサの移動した経路と結果の第2例を示す図である。

【図14】環境とセンサの移動した経路と結果の第3例を示す図である。

【図15】センサの移動距離と計算誤差とを説明する図である。

【図16】双曲線の要素を説明する図である。

【図17】球面投影法を用いた場合の視野領域および光路を示す図である。

【図18】円錐投影法を用いた場合の視野領域および光路を示す図である。

【図19】2葉双曲面投影法を用いた場合の視野領域および光路を示す。

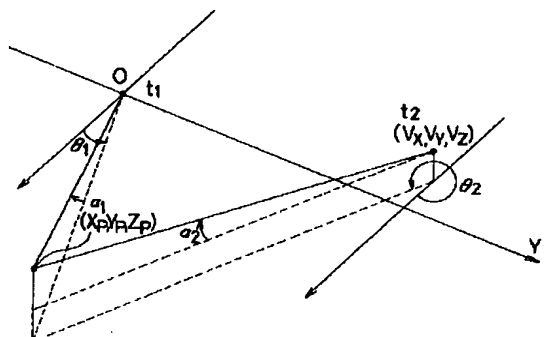
【符号の説明】

1、2 双曲面

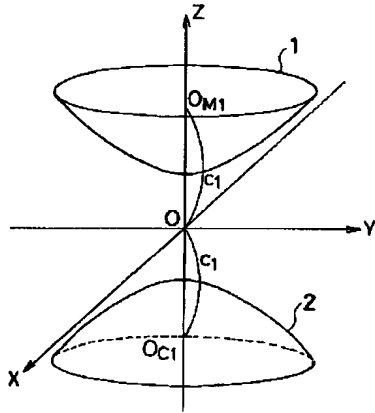
3 ミラー

5 画像平面

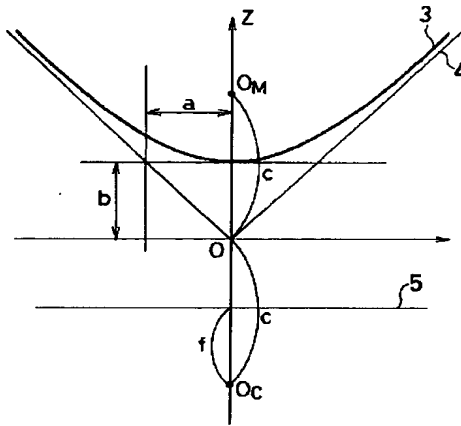
【図8】



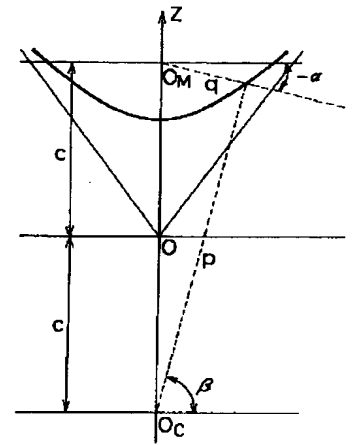
【図2】



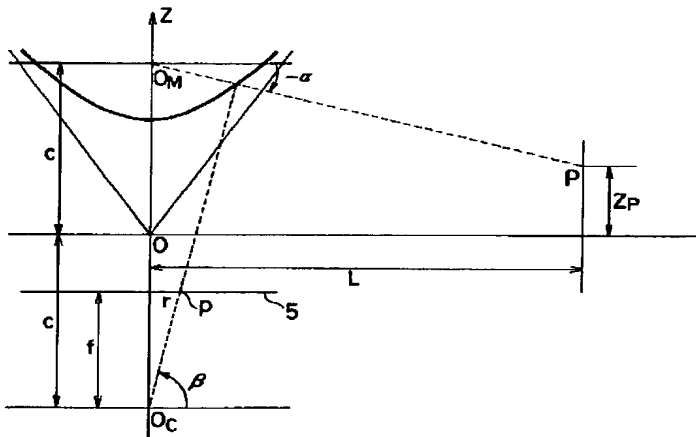
【図3】



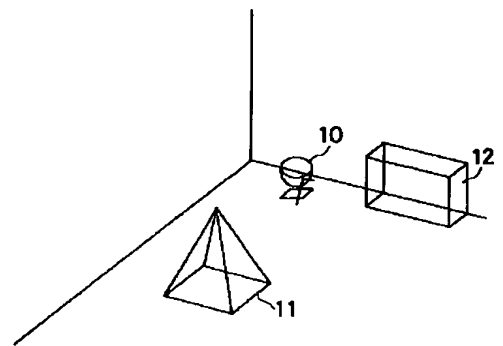
【図6】



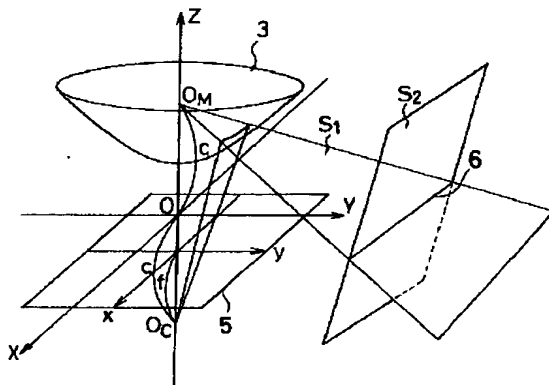
【図5】



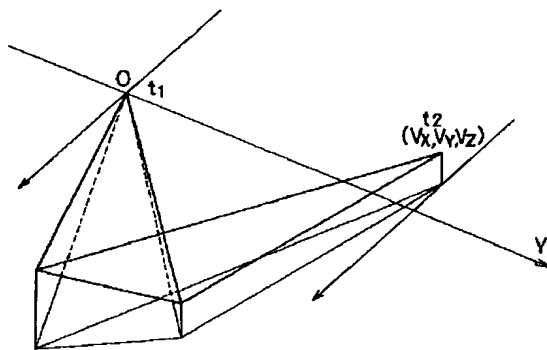
【図10】



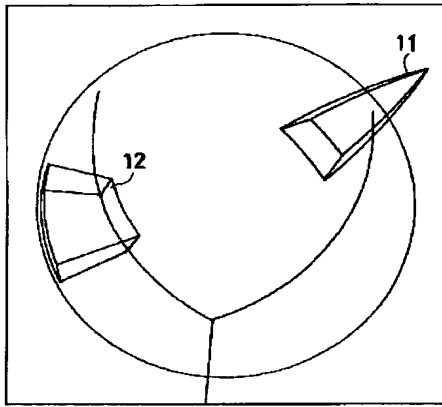
【図7】



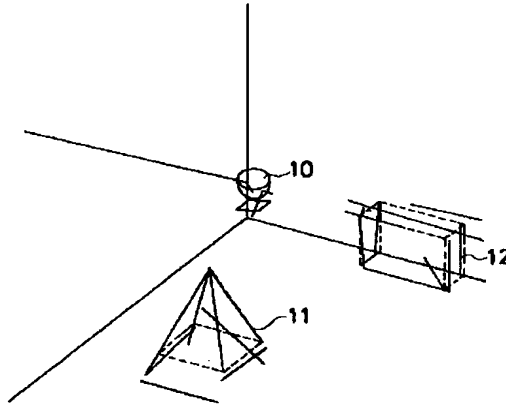
【図9】



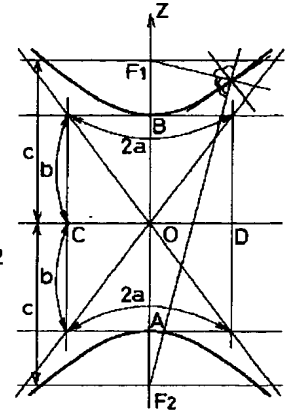
【図11】



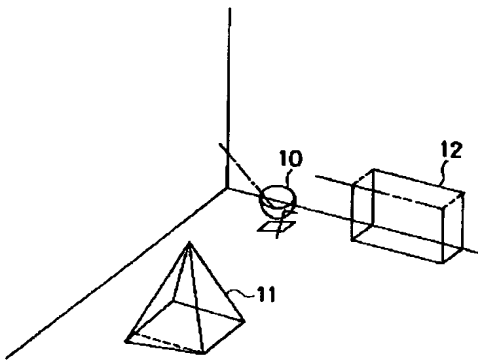
【図12】



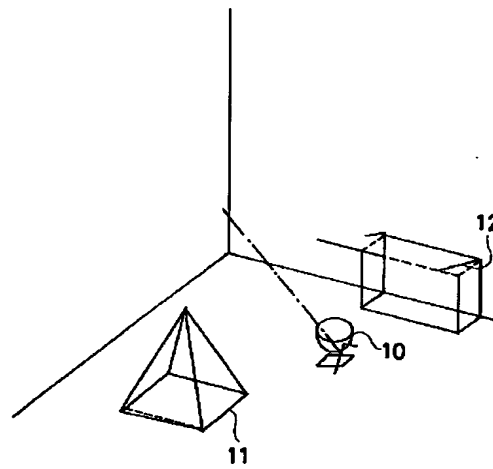
【図16】



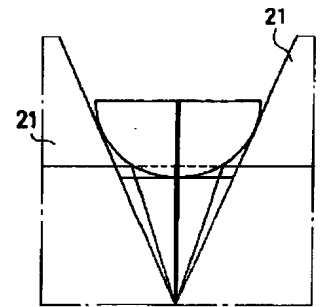
【図13】



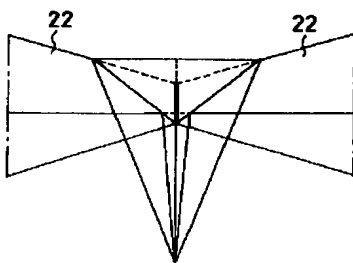
【図14】



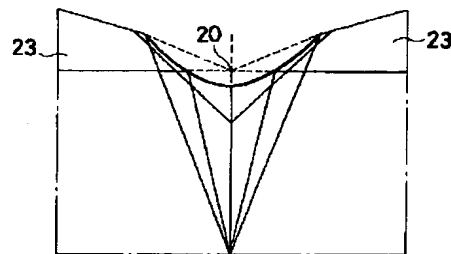
【図17】



【図18】



【図19】



【図15】

